

POROSITAS BETON MUTU TINGGI PASCA BAKAR

Porosity of High Strength Concrete Post Fire

Retno Anggraini

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya

ABSTRACT

The high change of temperatur (more than 700⁰ C) during fire will give certain impact on concrete structure. Because during this condition cooling and heating process will happen alternately. And this causes fisical ang chemical change of phase in complex way.

The change can influence the quality and compresive strength of High Performance Concrete. With burning method model on burner with temperatur 400⁰C - 1200⁰C and with time measured as asumed the time of fire. That the porosity of High Strength Concrete can survive until high temperatur (until 800C).

The porosity can change until 65% from start point (at room temperatur). And at the temperature more than 1000C, the porosity will be decrease until more than 100%. It becouse the decomposition will be occur on high temperatur.

Keyword : Porosity, High Strength Concrete, High Temperatur, Dekomposition

ABSTRAK

Terjadinya perubahan temperatur yang cukup tinggi (diatas 700⁰ C), seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran, akan membawa dampak pada struktur beton. Karena pada proses tersebut akan terjadi suatu siklus pemanasan dan pendinginan yang bergantian, yang akan menyebabkan adanya perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks.

Hal ini akan mempengaruhi kualitas / kekuatan struktur beton tersebut seperti porositas beton. Dengan menggunakan metode pembakaran benda uji pada burner dengan suhu target 400C – 1200C dan dengan rentang waktu terukur sebagai asumsi lamanya terjadi kebakaran dapat diketahui perubahan yang terjadi Terlihat bahwa nilai porositas beton mutu tinggi mampu bertahan sampai suhu 800C

Perubahan nilai porositas belum mengalami perubahan yang berarti yaitu berkisar 65% dari nilai awal. Sementara pada suhu diatas 800C nilai porositas akan menurun dengan tajam sampai diatas 100% pada suhu yang cukup tinggi. Hal ini karena terjadinya proses dekomposisi pada suhu tinggi.

Kata Kunci : Porositas, Beton Mutu tinggi, temperatur tinggi, dekomposisi

PENDAHULUAN

Bila kebakaran terjadi pada suatu konstruksi beton maka struktur-struktur kolom, balok, lantai dan dinding akan mengalami suatu siklus pemanasan dan pendinginan yang bergantian. Siklus pemanasan dan pendinginan, akan mempengaruhi struktur beton tersebut dan akan mengalami perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks yang dapat merubah struktur beton salah satunya porositas beton. Akibatnya akan mempengaruhi kekuatan struktur beton. Semakin besar porositas yang terjadi maka kekuatan beton akan semakin rendah, sebaliknya dengan tingkat porositas yang rendah maka kuat beton akan semakin tinggi.

Pada proses kebakaran, dengan suhu melebihi suhu kamar, akan terjadi proses penguapan pada struktur karena pada beton normal yang dibakar akan mengalami penguapan air bebas dalam pori-pori kapiler yang berukuran besar dan diikuti oleh pori-pori yang lebih kecil sehingga beton menjadi lebih porus. (*Amir Partowiyono, 1996*). Disamping penguapan struktur juga akan mengalami pemuaian pada material – material penyusun beton normal akibat dari terurainya atom-atom penyusun beton karena perubahan temperatur. Sehingga diduga akan terjadi perubahan nilai

porositas beton mutu tinggi akibat perubahan temperatur, mengingat sifat beton mutu tinggi yang hampir sama dengan beton normal, meskipun ketahanan beton mutu tinggi terhadap panas lebih tinggi dibanding beton normal. permasalahan yang timbul adalah berapa besar perubahan tingkat porositas beton mutu tinggi seiring dengan kenaikan suhu pada proses kebakaran, sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk proteksi struktur beton pasca kebakaran. (*Structure Fire Protection*)

Berkaitan dengan hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk mengetahui : perubahan porositas Beton Mutu Tinggi bila mengalami perubahan temperatur cukup tinggi. Untuk mengetahui perubahan porositas penelitian yang dilakukan, dibatasi pada :

1. Mutu Beton (High Strength Concrete) berdasarkan pada mutu beton dari penelitian – penelitian yang telah ada (60 Mpa).
2. Komposisi campuran beton / Mix Desain disesuaikan dengan spesifikasi dari material pengisi:
 - Mutu beton 60 Mpa
 - Semen : Type I Semen Gresik
 - Pasir : Ex. Lumajang
 - Kerikil : Ex. Pasuruan
 - Suhu pembakaran yang digunakan adalah berkisar antara 400⁰C sampai

- 1200⁰C dan waktu pengkonstanan suhu maksimum 1 jam pembakaran.
3. Penelitian dilakukan pada material beton saja

TINJAUAN PUSTAKA

- Beton Mutu Tinggi

Pada umumnya material Beton Mutu Tinggi adalah sama dengan Beton Normal dengan nilai porositas beton yang terjadi adalah cukup kecil sehingga didapatkan tingkat kepadatan yang cukup tinggi.

Nilai porositas beton ditentukan oleh faktor air semen (FAS) dari pasta. Semakin kecil FAS, maka semakin kecil porositasnya. Untuk memperkecil porositas beton digunakan mineral tertentu yang berupa mikro silika / karbon seperti *fly ash*, slag atau silikafume sebagai campuran. Supaya beton lebih padat serta untuk membatasi volume rongga dalam beton, dipakai mineral tertentu untuk campuran seperti superplasticizer, water reducer, fly ash, slag, atau silika fume.

- Density

Density beton tergantung pada jenis agregat yang digunakan. Beton dengan agregat padat mempunyai density 2,02,4 t/m³. Agregat berbobot ringan mempunyai variasi density berkisar antara 1,0-1,5 t/m³.

Salah satu efek dari pemanasan beton adalah hilangnya kadar air/kelembaban

segera setelah suhu pada titik tersebut melampaui 100⁰C. Kelembaban tersebut berpindah melalui serat kapiler ke permukaan luar beton. Kehilangan kelembaban ini akan mengurangi density beton (*H.L Malhotra*, 1982).

Berdasarkan penelitian yang telah ada (*Geoffrey D taylor,1988 & Mark Fintel,1987*), beton dengan density lebih rendah memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap perubahan temperatur. Selain itu, ketahanan terhadap kebakaran akan naik bila kadar kelembaban beton meningkat. Hal ini berlaku terutama jika peningkatan kadar air diatas 10%. Jika peningkatannya masih dibawah 7% maka peningkatan ini tidak berpengaruh pada ketahanan terhadap kebakaran.

Faktor – faktor seperti perbandingan air semen, kadar semen dan nilai slump hampir tidak berpengaruh pada ketahanan terhadap kebakaran untuk struktural beton pada umumnya (*Mark fintell,1987*).

- Porositas

Porositas memiliki nilai penting pada suatu material beton. Nilai porositas berhubungan langsung dengan sifat mekanik beton seperti kekedapan, keawetan bahkan dengan kekuatan beton dalam hal ini kuat tekan beton. Menurut *Powers(1959)*,semakin kecil air yang mengisi ruang dari tiap unit semen

(semakin kecil w/c ratio) pada awal proses pengikatan, maka proporsi pori-pori kapiler dalam semen akan semakin baik (semakin kecil). Menurut Powers, porositas terbuka terisi oleh *evaporebel water*. *Evaporebel water* adalah air yang dapat menguap dan sebagian besar merupakan air yang berda didalam kapiler atau yang tertahan oleh gaya-gaya permukaan dalam substansi gel itu sendiri. Akibat adanya proses hidrasi, kadar air yang tidak dapat menguap ini akan bertambah jumlahnya, sehingga kadar *evaporebel water* menjadi berkurang, karena rongga –rongga yang ada akan terisi oleh produk hidrasi (*Powers and Brownyard, 1974*).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Powers tersebut berlaku pada kondisi beton yang tidak mengalami perubahan tempertur yang cukup tinggi. Karena benda yang mengalami temperatur yang cukup tinggi akan mengalami banyak perubahan. Antara lain perubahan dimensi, sifat listrik, sifat mekanik, sifat optik, dsb. Dengan adanya perubahan tersebut maka porositas pun akan mengalami perubahan dibandingkan dengan beton yang tidak mengalami temperatur tinggi.

- Perubahan Sifat Material Konstruksi Akibat Panas

Bahan pada umumnya akan mengalami perubahan sifat akibat

perubahan temperatur **HL. Malhotra** (1982) dan **Sosrowinarso** (1988). Penelitian tentang Pengaruh temperatur tinggi akibat kebakaran pada struktur sangat penting untuk mengetahui perubahan sifat material yang digunakan pada struktur bangunan.

Sifat – sifat material dibagi menjadi 4 bagian (**HL. Malhotra, 1982**) seperti terlihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Sifat - sifat material

Chemical	Physical	Mechanical	Thermal
Decomposition Charring	Density Expansion Softening Melting Spalling	Strength Elasticity Strain Creep	Conductivity Specific heat

Tabel tersebut menunjukkan hanya kayu yang mengalami decomposition dan charring, sedangkan beton dan batu yang mengalami pengelupasan (*spalling*).

Pelunakan baja akan terjadi pada temperature lebih dari 800⁰C dan akan meleleh pada suhu berkisar 1200⁰C.

- Efek Peningkatan Temperatur Terhadap Beton

Ketahanan kebakaran struktur beton bertulang tergantung pada beberapa hal seperti :

- a. ketebalan elemen konstruksi (untuk menjaga transfer panas sampai pada batas yang dapat diterima)
- b. ketebalan selimut beton (untuk menjaga temperatur tulangan dibawah nilai kritis).

Ketebalan selimut beton dipengaruhi oleh jenis agregat. Seperti agregat ringan yang memiliki konduktivitas yang rendah, ekspansi yang rendah dan tahan terhadap spalling dapat mereduksi selimut tanpa mengurangi ketahanan terhadap kebakaran. Faktor lain yang mempengaruhi tingkat kerusakan pada suatu konstruksi adalah type material yang digunakan dan sistem statika struktur tersebut (Mark Fintel, 1987).

- Pengelupasan / *Spalling*

Kemungkinan kerusakan struktur beton oleh *spalling* terjadi pada saat kebakaran. Ada tiga type pengelupasan/*spalling* yaitu :

- a. *Agregate splitting* (agregat terbelah)
Terpecah dan terbelahnya agregat yang mengandung silika yang mengalami perubahan fisik pada suhu tinggi. *Spalling* jenis ini merupakan kerusakan terkelupasnya permukaan elemen beton padat yang terbuat dari agregat kerikil atau batu yang mengandung banyak silika.

b. *Ekspllosive spalling*

Bagian besar atau kecil dari beton terkelupas dari permukaan beton disertai bunyi yang keras. Biasanya terjadi pada 30 menit awal standart test kebakaran. Ini berhubungan dengan sifat dari agregat, porositas beton, kadar air dan tingkat kekuatan tekan beton.

c. *Sloughing off*

Terjadinya ketika lapisan permukaan beton menjadi lemah setelah terbakar pada waktu yang lama dan tidak dapat bertahan sehingga akhirnya timbul retak dan terkelupas.

METODOLOGI

- Pembuatan Benda Uji

Dilakukan berdasarkan mix desain dengan mutu beton 60 Mpa. Sedangkan bentuk benda uji : berupa silinder 15 x 30 cm. Dan jumlah benda uji yang digunakan seperti tabel berikut :

Tabel 2. Jumlah Benda Uji

Suhu	Jumlah Benda Uji
0	6
400	6
800	6
1200	6

- Pembakaran Benda uji ,

Dilakukan pada umur beton telah melewati umur 28 hari, dengan menggunakan alat yang berupa Burner yang dilengkapi dengan thermocouple sebagai pencatat suhu. Pembakaran benda uji dengan berbagai variasi suhu mulai 0, 400, 800, 1200 °C sesuai standart ASTM E84, E119, dan E136.

Waktu pengkonstanan pembakaran 1 jam, mengingat pengujian ini erupakan penelitian awal yang bisa dikembangkan untuk waktu pembakaran yang lain. Pembakaran pada suhu yang berbeda dengan pengkonstanan suhu yang sama akan menimbulkan pengaruh yang berbeda. Untuk suhu yang rendah dengan pengkonstanan suhu lebih dari 1 jam mungkin tidak akan terlalu berpengaruh pada beton. Tetapi pada suhu yang tinggi maka untuk pengkonstanan suhu walau hanya 1 jam kemungkinan akan menimbulkan pengaruh yang cukup besar. Dan standart temperatur seperti pada tabel berikut :

Tabel 3. Standart temperatur

T	Item	Standart	Reference
Temp	Besar perubahan temperatur	ASTM E136, 119, dan 84	ASTM STP 301, 464, 502, 344

- Test yang dilakukan pada benda uji :

Bertujuan untuk mengetahui prosentase rongga udara dari benda uji. Pengukuran porositas pada benda uji beton yang bertujuan untuk mendapatkan angka pori masing – masing variable benda uji (3 buah benda uji untuk masing – masing variable), yang dilakukan setelah umur beton melampaui 56 hari dan sudah direndam selama kurang lebih 2 minggu atau sampai dirasa bahwa seluruh pori dari beton terisi oleh air.

Bahan Benda uji berupa beton silinder 150x300 mm. Peralatan yang digunakan Timbangan , oven , tempat perendaman beton. Sedangkan prosedur pengujian dalam penelien ini adalah :

1. Ambil benda uji dari tempat perendaman.
2. Timbang benda uji dalam keadaan kering permukaan (W_{ssd} = kg)
3. Benda uji kemudian dimasukkan kedalam oven pada suhu 110 °C selama beberapa hari sampai beratnya konstan, tidak berkurang lagi (berat kering, W_o = kg)
4. Angka pori dari beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Air\ void = \frac{W_{ssd} - W_o}{V_{xBJ1}}$$

Dimana :

V = Volume dari benda uji (m^3)

BJI = Berat jenis larutan perendam, dalam hal ini adalah berat jenis air (kg/m^3)

- Analisa Hasil Pengujian

Untuk mengetahui hubungan yang terjadi antara perubahan temperature dan porositas yang terjadi pada beton digunakan analisa regresi terhadap hasil yang didapatkan. Dengan menentukan bentuk hubungan yang terjadi berdasarkan grafik yang terbentuk dan pendekatan rumusan regresi yang paling cocok dengan tingkat penyimpangan yang paling kecil ($R^2 = 1$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

- Pembakaran Benda Uji

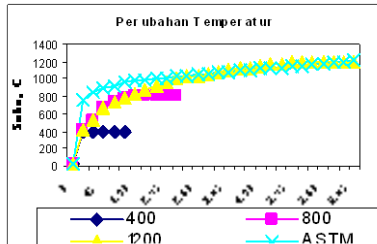
Proses pembakaran terhadap benda uji beton dilakukan dengan variasi suhu pembakaran tiga macam yaitu 400, 800, dan 1200 $^{\circ}\text{C}$ dan dengan pengkonstanan suhu selama 1 jam setelah suhu target tercapai.

Pengkonstanan suhu didasarkan pada perubahan – perubahan yang ingin dilihat pada permukaan beton setelah mengalami perubahan suhu, terutama untuk perubahan suhu yang cukup tinggi, pada setiap lama kebakaran yang pernah terjadi sampai suatu kebakaran itu dapat dipadamkan yaitu dengan selang waktu 1, 2, 3, 4 jam atau lebih. Hasil pembakaran terhadap benda uji seperti terlihat pada Tabel 4. Data Pencapaian Suhu Tungku

Pembakar . Sedangkan perbandingan perubahan suhu standar dengan hasil penelitian seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Tabel 4. Data Pencapaian Suhu Tungku Pembakar

Waktu	400 $^{\circ}\text{C}$	800 $^{\circ}\text{C}$	1200 $^{\circ}\text{C}$	ASTM
0	32	32	32	20
15	400	405	405	760
30	400	532	532	843
45	400	668	668	892
60	400	732	732	927
1.15	400	781	781	955
1.30		800	835	978
1.45		800	876	996
1.60		800	918	1010
2.15		800	967	1015
2.30		800	1004	1031
2.45			1029	1040
2.60			1043	1052
3.15			1058	1062
3.30			1079	1072
3.45			1094	1083
3.60			1116	1093
4.15			1133	1103
4.30			1148	1114
4.45			1162	1124
4.60			1178	1135
5.15			1189	1146
5.30			1196	1156
5.45			1200	1167
5.60			1200	1177
6.15			1200	1187
6.30			1200	1198
6.45			1200	1208



Gambar 1. Perbandingan perubahan suhu standart dengan penelitian

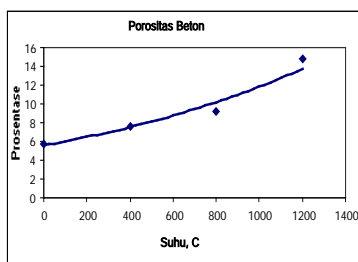
Pada gambar 1 terlihat waktu yang tercapai untuk pencapaian suhu 400, 800, dan 1200 °C. waktu yang dibutuhkan tungku untuk mencapai suhu 400 °C sekitar 12 menit, untuk mencapai suhu 800 °C sekitar 1jam 21 menit, dan suhu 1200 °C sekitar 5 jam 45 menit. Berbeda dengan perubahan suhu standart yang disyaratkan ASTM, waktu pencapaian suhu 400 °C kurang dari 5 menit, suhu 800 °C kurang lebih 22 menit, sedangkan untuk suhu 1200 °C 6 jam 40 menit Hal ini dikarenakan kapasitas burner yang digunakan tidak sama dengan kapasitas burner standart. Hasil pengujian porositas terhadap beberapa benda uji pada berbagai variasi suhu setelah dirata-rata dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Porositas rata – rata benda uji pada berbagai suhu

Suhu	Porositas (%)
0	5,71
400	6,46
800	9,43
1200	14,16

Porositas memiliki hubungan yang sangat erat dengan kekedapan dan keawetan beton. Beton yang memiliki nilai porositas minimum akan lebih awet dibandingkan dengan beton yang memiliki nilai porositas tinggi, karena porositas yang minimum akan memperkecil kemungkinan beton terkontaminasi oleh lingkungan luarnya terutama oleh lingkungan yang agresif.

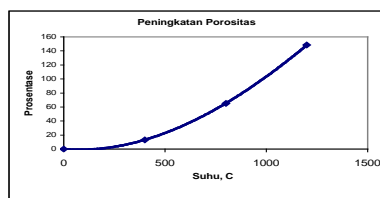
Pada beton yang mengalami pembakaran dengan suhu cukup tinggi, kondisinya berbeda dengan beton pada suhu ruangan. Hasil pengujian terhadap benda uji dapat dilihat, semakin tinggi temperatur maka nilai porositas dari beton akan semakin meningkat walaupun nilai peningkatannya tidak menunjukkan perbandingan yang linear. Seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Porositas dan variasi suhu

Tabel 6 Nilai Prosentase kenaikan porositas pada berbagai variasi suhu

Suhu	Prioritas
0	0
400	13,2127
800	65,2698
1200	148,344



Gambar 3. Grafik Hubungan

Tabel 6 dan gambar 3 dapat dilihat bahwa prosentase kenaikan porositas yang terjadi sangat tajam pada suhu 1200 °C yaitu sebesar 148%. Pada suhu dibawah

1200 °C kenaikan porositas masih berada pada nilai dibawah 100% sedangkan diatas 1200 °C kenaikan porositas melonjak sampai diatas 100%. Hal tersebut terjadi karena beton dengan suhu yang cukup tinggi akan mengalami pemuaian cukup besar akibat dari penguraian atom-atom pembentuk beton, dan proses penguapan air yang terikat didalam beton meninggalkan pori pada beton, sehingga nilai porositas meningkat lebih tajam.

Gambar diatas menunjukkan bahwa peningkatan temperatur akan meningkatkan nilai porositas karena pada benda yang terbakar akan mengalami berbagai macam perubahan seperti dimensi, sifat optik, serta sifat mekaniknya seperti porositas beton yang akhirnya juga mempengaruhi nilai kuat tekannya. Karena pada beton yang dibakar akan mengalami penguapan air bebas dalam pori- pori kapiler yang berukuran besar dan diikuti oleh

Dari Grafik Hubungan antara kenaikan temperature dan porositas beton yang terjadi terlihat bentuk grafik yang terjadi dengan bentuk mengikuti pola persamaan eksponensial. Dimana telah dianalisa bahwa hubungan yang terjadi mengikuti persamaan eksponensial dengan persamaan yang paling mendekati adalah :

$$y = 5.5764 e^{0.0008x}$$

dengan nilai tingkat kesalahan , $R^2 = 0.9636$.

Dimana :

y = nilai porositas beton (%)
X = temperature (0 C)

Dengan persamaan yang ada dapat diketahui porositas yang terjadi pada berbagai macam perubahan suhu yang terjadi pada beton. Dimana hal ini akan dapat digunakan dalam memprediksikan kuat tekan beton setelah mengalami perubahan temperature, karena porositas erat hubungannya dengan kuat tekan beton.

SIMPULAN

Perubahan temperatur yang cukup tinggi terbukti menyebabkan terjadinya perubahan sifat beton seperti porositas. Dengan meningkatnya temperatur akan meningkatkan nilai pori dari beton termasuk pada beton mutu tinggi. Terlihat bahwa kenaikan suhu diatas 1000C akan meningkatkan nilai pori sampai 148% dari nilai pori awal dibandingkan dengan suhu dibawah 1000C yang kenaikannya masih dibawah 100% dari nilai pori beton pada suhu kamar .

Besar atau kecilnya nilai porositas dari beton khususnya beton mutu tinggi yang diteliti disini dipengaruhi oleh jenis agregat pengisi beton dan temperatur yang terjadi pada beton. Dimana hubungan yang terjadi antara perubahan temperature dan

porositas beton dapat diketahui dari persamaan eksponensial dengan bentuk $y = 5.5764 e^{0.0008x}$

Meningkatnya nilai porositas menunjukkan bahwa beton memiliki pori yang cukup besar akibat terjadinya penguapan air dan pemuain material pengisi beton. Hal ini merupakan salah satu penyebab turunnya kualitas beton dalam memikul beban khususnya kemampuan beton dalam memikul beban tekan.

DAFTAR PUSTAKA

- Mark Fintell, Handbook of Concrete Engineering, Von Nostrand Reinhold Company, New York, 1987
- The Aqua Group, Fire and Building, Aguide for the Design Team, Collins, London
- ASTM, American Standart Test Material Vol. E, New York, 1985
- Malhotra. HL, Design of Fire Resisting Structures, Surrey University Press, New York
- ASCE Manuals and Reports on Engineering no. 78, Structural Fire Protection, American Society of Civil Engineeing, New York, 1992
- Amir Partowiyono, “Perubahan Sifat – Sifat Beton pada Temperatur Tinggi”, Jurnal PU Pemukiman Bandung, 1996